SNI 8499:2018

Standar Nasional Indonesia

Spesifikasi teknis turbin Francis untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

ICS 27.140

Badan Standardisasi Nasional

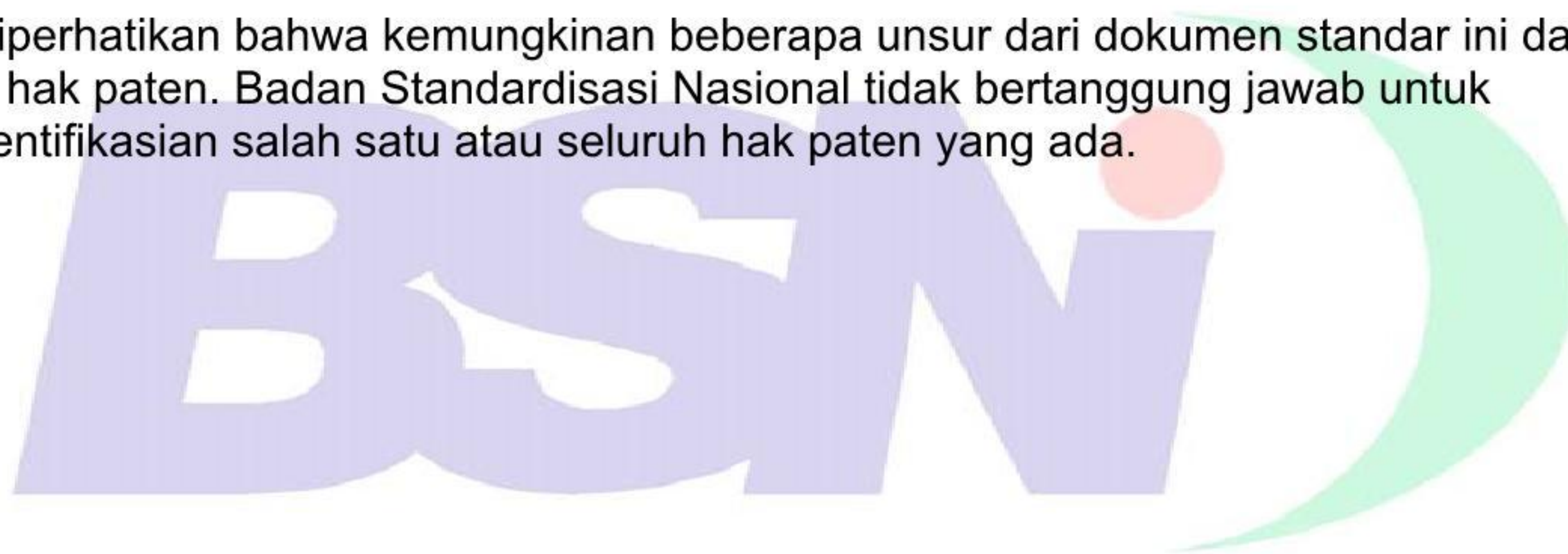
Daftar isi

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) “Spesifikasi teknis turbin Francis untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” merupakan SNI baru. Standar Nasional Indonesia (SNI) ini disusun dengan tujuan memberikan panduan bagi pembeli maupun produsen turbin dalam menyusun spesifikasi teknis dimulai dari kondisi hidrolik, komponen utama, pengujian, instalasi, hingga garansi yang perlu ditentukan untuk seluruh komponen turbin Francis. SNI ini merupakan kategori standar penyusunan baru (non adopsi).

SNI mengenai “Spesifikasi teknis turbin Francis untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” ini disusun oleh Komite Teknis 27-03, Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan melalui prosedur perumusan standar dan dibahas dalam Forum Konsensus pada tanggal 18 Oktober 2017 di Bekasi dan dihadiri oleh wakil-wakil dari pemerintah, produsen, konsumen, lembaga penelitian dan instansi terkait lainnya.

Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 29 Januari 2018 sampai dengan 30 Maret 2018 dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang digerakan oleh tenaga air dengan cara memanfaatkan debit dan beda ketinggian (*head*) air. Untuk keperluan elektrifikasi pedesaan, listrik terbangkit merupakan arus bolak-balik yang bertegangan 220/380 Volt AC. PLTMH sangat populer dalam pengembangan energi terbarukan dan menjadi solusi bagi penyediaan listrik dibangun di daerah terpencil atau daerah yang belum terjangkau jaringan distribusi PLN karena pertimbangan teknis maupun ekonomis. Syarat utama kelayakan teknis suatu PLTMH adalah adanya *head* dan debit air.

Komponen utama PLTMH yang mengubah energi potensial berupa *head* dan debit air menjadi energi hidrolik air (kinetik) adalah turbin. Saat ini sudah banyak pabrikan di Indonesia yang mampu memproduksi secara lokal beberapa jenis turbin PLTMH antara lain *crossflow*, propeler dan Francis dengan beragam desain atau spesifikasi.

Spesifikasi teknis turbin Francis untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

1 Ruang lingkup

Spesifikasi teknis turbin Francis untuk PLTMH pada umumnya perlu mempertimbangkan beberapa hal berikut ini, yaitu:

i. kondisi hidrolik;
ii. komponen dan konstruksi turbin Francis;
iii. transportasi dan penyimpanan di lokasi pemasangan;
iv. instalasi, pemeriksaan, pengujian, dan komisioning.

2 Istilah dan definisi

2.1
aktuator
sebuah peralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme atau sistem

2.2
akumulator
alat untuk menyimpan energi (listrik, mekanik)

2.3
alignment
kesamaan sumbu antara dua fitur geometri yang berbentuk silinder

2.4
area pemeliharaan
area yang digunakan untuk melakukan penyimpanan sementara komponen pembangkit di lingkungan pembangkit

2.5
bak penenang
struktur yang mempunyai luas potongan melintang lebih besar dari saluran pembawa yang berfungsi untuk memperlambat aliran air agar terjadi pengendapan partikel sedimen dan menenangkan aliran air sebelum masuk ke dalam pipa pesat

2.6
balancing
suatu proses yang dilakukan untuk membuat pusat massa tepat sesumbu dengan sumbu putarnya

2.7
bendung
struktur yang berfungsi untuk menaikkan dan mengontrol tinggi muka air dalam sungai sehingga jumlah air memadai dapat dialihkan ke dalam *intake*

2.8
bushing
bantalan (*bearing)* yang menggunakan prinsip gesekan pada silinder berlubang untuk menanggung beban dari *shaft* yang berputar

2.9
connecting rods
suatu komponen yang berfungsi untuk menerima tekanan tinggi dan mengubah gerak lurus menjadi gerak putar serta kuat dan kaku terhadap regangan

2.10
debit
volume air per satuan waktu yang mengalir melalui suatu penampang saluran atau pipa

2.11
debit desain
debit berdasarkan perhitungan *flow duration curve* dan rencana produksi listrik

2.12
draft tube
saluran yang menghubungkan *runner* turbin reaksi dengan permukaan air *tailrace* untuk memanfaatkan beda tinggi dan energi kinetik air yang keluar

2.13
efisiensi turbin
perbandingan daya mekanik poros turbin terhadap daya air yang dinyatakan dalam per sen

2.14
field acceptance test
proses pengujian peralatan/mesin sebelum beroperasi sesuai dengan standar yang berlaku

2.15
flywheel
perangkat mekanik berputar yang digunakan untuk menyimpan energi rotasi

2.16
generator
alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik

2.17
governor
peralatan yang digunakan untuk menstabilkan putaran mesin agar tetap konstan ketika terjadi perubahan beban dan sumber energi kinetik air

2.18
guide vane
susunan peralatan yang dapat diatur untuk mengendalikan laju, arah, dan debit aliran fluida menuju ke sudu putar sehingga turbin mendapatkan energi yang efektif

2.19
head
jarak vertikal antara permukaan air pada bak penenang dengan permukaan air pada *tailrace*

2.20
***head* desain**
head yang ditetapkan melalui metode perhitungan tertentu sebagai acuan untuk merancang sebuah mesin

2.21
net head
head yang telah bebas dari rugi-rugi fluida dalam pipa pesat

2.22
interlock
sistem yang dirancang untuk mengamankan suatu peralatan terhadap peralatan lainnya

2.23
jaringan distribusi
sebuah sistem fasilitas penyaluran tenaga listrik yang meliputi saluran transmisi dan saluran distribusi berikut sarana penunjangnya

2.24
isolated grid/off-grid
sistem kelistrikan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik nasional

2.25
kavitasi
fenomena perubahan fase uap dari zat cair yang sedang mengalir akibat dari penurunan tekanan hingga di bawah tekanan uap jenuhnya

2.26
manhole
lubang akses untuk masuk ke bagian dalam peralatan/mesin dan dapat ditutup dengan rapat sehingga tidak mengganggu ketika mesin beroperasi

2.27
Non Destructive Test (NDT)
pengujian terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat dan kerusakan lain tanpa merusak benda diuji

2.28
performance curve
kurva yang menunjukan unjuk kerja sebuah peralatan/mesin pada beberapa variasi beban/kapasitas

2.29
petrografi
ilmu yang mempelajari/mengidentifikasi tentang komposisi batuan secara mikro dengan bantuan mikroskop polarisator

2.30
pipa pesat
suatu pipa atau saluran yang mengalirkan air bertekanan ke turbin

2.31
radial flow
arah aliran berubah dari radial menjadi aksial

2.32
rumah pembangkit
struktur yang di dalamnya terdapat turbin, generator, peralatan kontrol, dan peralatan penunjang lainnya

2.33
run out
pengukuran besaran simpangan sebuah benda berputar

2.34
runner
bagian turbin yang berputar oleh daya kinetik air yang melintas dan/atau menumbuk sudu putar (*blade*)

2.35
saluran pelimpas/*spillway*
saluran untuk melimpaskan air berlebih dari saluran/bak air

2.36
saluran penguras
saluran yang dibuat untuk membuang atau mengalirkan endapan sedimentasi

2.37
***spiral casing*/rumah keong**
peralatan mekanis berbentuk rumah keong yang mendistribusikan air ke sekeliling g*uide vane* pada tekanan dan kecepatan yang sama

2.38
surge tank
suatu bangunan yang berfungsi untuk mengurangi dampak *water hammer*

2.39
tailrace
bangunan yang menyalurkan air dari komponen bangunan air untuk masuk kembali ke aliran sungai

2.40
uji hidrostatis
pengujian untuk mengukur kekuatan dan kebocoran sebuah bejana bertekanan dengan menggunakan media fluida cair

2.41
torsi hidrolik
torsi pada sebuah poros yang dibangkitkan dari tenaga fluida cair

2.42
trash rack
bangunan yang berfungsi untuk menyaring sampah dari aliran air

2.43
waterway
kumpulan atau sebuah bangunan yang menyalurkan air dari sungai hingga ke turbin

2.44
wearing ring
komponen yang dipasang antara komponen berputar dengan komponen diam yang berfungsi untuk meminimalisir kebocoran fluida

2.45
yield point material
nilai tegangan terendah ketika material mulai mengalami deformasi plastis

3 Kondisi hidrolik

3.1 *Layout* PLTMH

Sebuah PLTMH pada umumnya tersusun atas bendung, *trash rack*, pintu air, bak penenang, saluran penguras pada bak pengendap, *waterway* bertekanan rendah, saluran pelimpas/*spillway*, *waterway* bertekanan tinggi/*penstock* (bila diperlukan), *surge tank* (bila diperlukan), katup (bila diperlukan), turbin generator set, panel kontrol instrumen, rumah pembangkit, *tailrace*, area pemeliharaan, dan lain sebagainya. Data yang digunakan harus jelas sehingga kondisi fisik yang dapat mempengaruhi desain secara rinci dapat dipahami dengan baik.

Jenis turbin Francis, lengkap dengan semua komponen yang tertanam, komponen statis yang bisa dilepas, dan komponen berputar (*draft tube*, rumah keong, *guide vane runner*/turbin, poros, *flywheel*, transmisi mekanik bila diperlukan, generator, bantalan (*bearing)*, *seal* dan peralatan lain sebagainya). Poros pada umumnya dipasang pada posisi horizontal.

Adapun perlengkapan dan kebutuhan lainnya yang sebaiknya disediakan, yaitu:
i) dokumen hasil simulasi/pengujian model turbin;
ii) dokumen hasil pengukuran dan pengujian perakitan (*Non Destructive Test*) di *workshop*;
iii) perlengkapan untuk perakitan dan pemeliharaan turbin;
iv) dokumen panduan operasi dan pemeliharaan serta pelatihan personel untuk operasional & pemeliharaan;
v) dokumen jadwal penggantian suku cadang beserta penyediaan suku cadang selama lima tahun untuk jaminan bebas gangguan selama operasi sesuai dengan kebutuhan dan kesepakatan.

3.2 Parameter kondisi hidrolik

Parameter kondisi hidrolik yang perlu diperhatikan dalam sebuah PLTMH, diantaranya adalah:
i) level ketinggian maksimum air saluran keluaran turbin (m);
ii) level ketinggian minimum air saluran keluaran turbin (m);
iii) *head* gross statis maksimum (m);
iv) *head* net maksimum (m);
v) *head* net minimum (m);
vi) *head* desain (m);
vii) debit (Q) maksimum (m^3/s);
viii) debit (Q) minimum (m^3/s);
ix) debit (Q) normal (m^3/s);

x) rentang temperatur air (°C);
xi) analisis kualitas air (sifat kimia, korosifitas alami, biologi, suspensi padat);
xii) rentang temperatur lingkungan dan kelembaban udara (lingkungan tropis atau dingin ekstrem perlu disebutkan secara jelas).

3.3 Data teknis operasional

3.3.1 Model operasional

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam operasional sebuah PLTMH, diantaranya adalah:
i) fungsi PLTMH untuk beban dasar atau beban puncak;
ii) jumlah start-stop operasional per tahun;
iii) faktor kapasitas pembangkit listrik;
iv) fitur operasional khusus (sinkron dengan kondensor, sinkron dengan motor, operasional jaringan terbatas/*isolated*, start mandiri/*black* start, dan lain sebagainya);
v) nilai *output* daya pada debit dan *head* tertentu (kW);
vi) kecepatan turbin dan generator;
vii) arah rotasi searah jarum jam/*clockwise* atau berlawanan arah putaran jarum jam/*counter clockwise* dapat dilihat dari sisi generator ke arah turbin.

3.3.2 Pertimbangan erosi pasir

Risiko erosi pasir memerlukan data spesifikasi teknis air yang menunjukkan kandungan suspensi padat, ukuran dan bentuknya. Data tersebut dijadikan pertimbangan dalam desain bak pengendap untuk mengoptimalkan umur operasi turbin. Sampel air diambil saat musim hujan secara berkala dan dilakukan analisis kandungan lumpur.

3.3.3 Faktor keamanan

Persyaratan keamanan seluruh bagian komponen harus dirancang dan dibangun agar mampu menahan tekanan maksimum selama operasional normal, kecepatan berlebih ketika lepas beban, kondisi hubungan singkat, keluar dari fase sinkronisasi jaringan dan penggunaan rem. Tegangan maksimum pada material komponen yang berputar tidak boleh melebihi nilai 2/3 dari nilai *yield point material*. Untuk faktor keamanan komponen lainnya, nilai *yield point* tidak boleh kurang dari 3 kali kondisi operasional normal. Untuk kondisi beban berlebih/*overload* dan kondisi hubung singkat, faktor keamanan yang diijinkan minimal sebesar 1,5 dengan rujukan nilai *yield point material*.

3.4 Garansi kinerja

Output maksimum dan efisiensi turbin pada *head* desain harus dinyatakan dan terjamin sesuai dengan spesifikasi teknis turbin. Turbin dapat beroperasi dengan aman sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku dan memiliki efisiensi yang tinggi pada saat kondisi *head* minimum dan beban diatas 60% (enam puluh per sen).

Pengujian di lapangan sesuai dengan standar yang berlaku akan menentukan dasar penetapan jaminan/garansi performa turbin dan ganti rugi apabila terjadi kegagalan dalam rentang waktu tertentu serta penolakan keberterimaan PLTMH.

3.4.1 Uji keluaran dan efisiensi

Pengujian sebagaimana ditentukan dalam standar yang berlaku harus dilaksanakan pada nilai variasi *head* dan bukaan *guide vane* yang berbeda untuk menentukan parameter jaminan/garansi efisiensi. Setiap penyimpangan dari ketentuan standar pengujian harus dinyatakan secara jelas sehingga terdapat beberapa hal yang harus ditetapkan yaitu:
i) rincian detail metode pengujian;
ii) badan/lembaga independen yang akan melaksanakan pengujian;
iii) ketentuan dan standar pengujian lapangan;

iv) kalibrasi instrumen pengujian dan semua rincian lainnya yang terkait.

Penyedia barang/jasa turbin berkewajiban menerima hasil pengujian sebagai dasar jaminan/garansi kinerja. Seluruh biaya yang muncul akibat pengujian ini menjadi tanggung jawab penyedia barang/jasa.

3.4.2 Batasan penolakan

Turbin berhak ditolak jika nilai pengujian efisiensi rata-rata atau nilai *output* daya keluaran lebih rendah dari jaminan dengan nilai sebesar 2% (dua per sen) atau lebih setelah memperhitungkan toleransi yang disepakati dalam perhitungan efisiensi.

3.4.3 Garansi kavitasi

Selama 18 bulan sejak tanggal komisioning atau 8.000 jam operasi (mana yang tercapai terlebih dahulu), turbin harus dijamin untuk terhindar dari korosi *pitting* berlebihan yang disebabkan oleh kavitasi. Korosi *pitting* yang berlebihan harus didefinisikan sebagai penghilangan berat logam dari turbin (W) dengan:

$$W = 0,15 \times D^2 \quad (1)$$

Keterangan:
W adalah penghilangan berat logam dari turbin
D adalah diameter keluaran dari turbin

Apabila berat yang hilang akibat korosi *pitting* melebihi dari nilai yang dijamin, maka turbin perlu dilakukan tindakan perbaikan atau penggantian turbin baru dengan seluruh biaya yang muncul menjadi tanggung jawab penyedia barang dan jasa. Turbin baru sebagai pengganti atau turbin hasil perbaikan/modifikasi harus diberikan jaminan/garansi kavitasi sesuai peralatan aslinya.

Untuk memastikan garansi kavitasi, maka diperlukan dokumen pencatatan data operasi selama periode garansi. Turbin dioperasikan dalam rentang daya *output*, *head*, dan debit yang telah ditentukan. Setelah jangka waktu tertentu perlu dilakukan pemeriksaan bersama untuk menemukan korosi *pitting* akibat kavitasi dan menetapkan bahwa kavitasi berada dalam batas wajar sehingga turbin yang tersebut memenuhi jaminan kavitasi.

3.4.4 Nilai sigma kavitasi

Nilai sigma kavitasi harus diperhitungkan sesuai dengan standar yang berlaku, sehingga didapat *head suction* yang paling optimum pada *draft tube* turbin Francis namun tidak menimbulkan kavitasi yang dapat merusak turbin. Nilai tersebut harus disampaikan dengan jelas sehingga bisa memenuhi margin keamanan sesuai dengan spesifikasi yang telah disepakati.

3.4.5 Tingkat getaran dan kebisingan

Desain turbin harus memastikan PLTMH beroperasi secara halus dan tenang dengan getaran, fluktuasi tekanan, fluktuasi daya, dan kebisingan yang rendah.

Amplitudo getaran pada poros tidak boleh melebihi nilai yang ditentukan dalam standar yang berlaku.

Tingkat kebisingan maksimum yang diijinkan pada berbagai kondisi operasi tidak melebihi nilai 85 dB (A) pada rentang jarak manapun sejauh 1,0 m dari setiap peralatan yang beroperasi.

3.4.6 Kecepatan *runaway*

Kecepatan maksimum *runaway* harus dinyatakan dan dijamin oleh penyedia barang/jasa. Kecepatan *runaway* harus memenuhi kondisi *head* maksimum, *guide vane* terbuka penuh, generator terputus dan tidak tereksitasi, dengan hasil pengujian tanpa kerusakan pada setiap

komponen untuk setiap kejadian. Seluruh komponen dan bantalan (*bearing)* yang berputar harus mampu bertahan pada kecepatan *runaway* selama 30 menit apabila peralatan pendingin berfungsi dan selama 15 menit apabila pendingin tidak berfungsi.

3.4.7 Kenaikan kecepatan, tekanan dan inersia

Momen inersia pada mesin dan waktu penutupan *guide vane* harus dipilih sedemikian rupa. Pemilihan tersebut harus memenuhi syarat peningkatan kecepatan sesaat maksimum tidak lebih dari 45% dari kecepatan normal dan peningkatan tekanan tidak lebih dari 20% dari *head* maksimum. Pabrikan turbin harus berkoordinasi dengan pabrikan generator untuk mencapai efek *flywheel* yang diinginkan.

3.4.8 Karakteristik

Turbin Francis memiliki beberapa karakteristik yang berbeda dengan jenis turbin air lainnya, diantaranya adalah:

i) jenis turbin dengan aliran air berubah dari radial menjadi aksial (radial *flow*);
ii) pemasangan *shaft* lebih fleksibel dengan pilihan arah horizontal maupun arah vertikal;
iii) jumlah sudu pada *runner* umumnya lebih banyak yaitu 9 sampai dengan 24 buah;
iv) sudu pada *runner* tidak bisa diatur atau diubah;
v) *head* yang digunakan pada umumnya menengah hingga tinggi;
vi) debit yang digunakan pada umumnya menengah;
vii) kecepatan spesifik (n_s) yang dimiliki pada umumnya berada pada rentang nilai 50 sampai dengan 300.

CATATAN: n_s dihitung menggunakan satuan SI.

4 Komponen dan konstruksi turbin Francis

4.1 Komponen tertanam

4.1.1 Rumah keong

Perlu tersedia informasi mengenai persyaratan rumah keong, data dimensi desain, tekanan desain, tekanan pengujian, material, dan metode manufaktur yang akan digunakan sesuai dengan persyaratan standar yang berlaku. Di samping itu, rumah keong perlu memiliki informasi tambahan seperti data umum lokasi pemasangan, ukuran dan jenis sambungan *inlet*, dimensi katup pengurasan, *manhole* untuk pemeliharaan, dan gambar potongan melintang sehingga mudah untuk dipahami ketika dilakukan pemeliharaan.

4.1.2 *Draft tube*

Perlu disediakan informasi mengenai persyaratan *draft tube*, tekanan desain maksimum amplitudo tekanan maksimum yang diijinkan, jenis material untuk manufaktur, ketebalan maksimum pelat, transportasi dan penanganan, toleransi dimensi, lokasi, rincian batas hilir, rincian jendela inspeksi, area dan konstruksi untuk pemeliharaan, posisi dan jenis alat angkat, lokasi, ukuran dan rincian sambungan (misal: *manhole*, saluran penguras *draft tube*, pipa aerasi, pengatur level ketinggian air *draft tube*, indikator, dan alat uji, serta lain sebagainya), rincian pendukung perakitan permanen dan sementara, dan peralatan penanganan (angkur dan lain sebagainya).

4.2 Komponen statis yang dapat dilepas

4.2.1 *Head cover* dan *bottom ring*

Perlu disediakan informasi mengenai persyaratan:

i) *head cover* dan *bottom ring*;
contoh: - *head cover* harus dapat dilepas untuk pemeliharaan;
- *bushing guide vane* harus dapat diganti tanpa melepas *head cover* dan *bottom ring*.

ii) material untuk manufaktur;
iii) saluran penguras pada *housing*;
iv) lokasi bantalan;
v) susunan *shaft seal*;
vi) dimensi dan material *wear ring*;
vii) sistem pendukung bantalan;
viii) rincian rumah bantalan *guide vane* dan *bushing* dengan material dan fitur khusus (pelindung kotoran dan lain sebagainya);
ix) spesifikasi bantalan dan *shaft seal*;
x) jalur akses untuk pemeliharaan.

4.2.2 *Guide vane*

Perlu disediakan informasi mengenai persyaratan *guide vane*, jenis material (tahan terhadap erosi, korosi, dan kavitasi), karakteristik torsi hidrolik, susunan *guide vane*, susunan pelindung *guide vane*, jenis material *bushing guide vane*, dan material untuk *stem seal guide vane*.

4.3 Pengatur *guide vane*

4.3.1 *Servomotor*/aktuator hidrolik

Perlu tersedia informasi mengenai persyaratan *servomotor*/aktuator hidrolik, lokasi penempatan, jenis material, tekanan operasi maksimum dan minimum yang diijinkan, tekanan uji, waktu pembukaan dan penutupan, pengaturan *seal*, dan persyaratan lain untuk kemudahan operasi dan pemeliharaan.

4.3.2 *Connecting rods*

Informasi mengenai persyaratan *connecting rods*, jenis material, susunan, pemilihan dimensi dan kebutuhan *bushing* minimum harus tersedia

4.3.3 *Regulating ring*

Perlu disediakan informasi mengenai persyaratan *regulating ring*, jenis material untuk manufaktur, dan persyaratan pendukung pada *head cover*.

4.3.4 *Guide vane linkage*

Perlu disediakan informasi mengenai persyaratan susunan *guide vane linkage*, jenis material dan metode penyesuaian individu pada masing-masing bilah *guide vane* dalam posisi tertutup.

4.3.5 *Locking devices*

Perlu disediakan informasi mengenai persyaratan pemilihan pengaturan otomatis atau manual, indikator posisi "tertutup" atau "terbuka", deteksi penguncian, dan indikator/peringatan tanda penguncian.

4.4 Komponen berputar, *bearing* dan *seal*

4.4.1 *Runner turbin Francis*

Perlu disediakan informasi mengenai bahan/material yang digunakan untuk membuat *runner* (tahan terhadap korosi dan abrasi). Di samping itu perlu disediakan prosedur pemasangan *runner* terhadap poros.

4.4.2 *Poros turbin*

Ketentuan poros turbin adalah sebagai berikut:
i) poros turbin terbuat dari baja karbon tempa (*forged carbon steel*) atau baja paduan (*alloy steel*);
ii) putaran poros turbin diteruskan ke generator, baik secara langsung maupun melalui alat transmisi mekanik;
iii) perlu dilengkapi *flywheel* apabila sistem terinterkoneksi dengan *flow control;*

iv) dimensinya poros harus mampu menyalurkan torsi pada kecepatan tertentu tanpa getaran yang berlebihan atau distorsi apapun;
v) bilamana diperlukan, poros turbin perlu dilengkapi dengan *sleeve* yang dapat dipasang/dilepas pada bagian poros yang bergesekan dengan *seal* atau *gland*;
vi) dalam rangka perencanaan poros turbin, pabrikan turbin perlu berkoordinasi dengan produsen generator, bantalan (*bearing)*, *coupling*, dan transmisi;
vii) perlu dilakukan *alignment* poros turbin dan generator di lokasi pabrikan dan lokasi pemasangan turbin dan generator.

4.4.3 Bantalan *(bearing)*

Ketentuan bantalan (*bearing)* adalah sebagai berikut:
i) jenis bantalan (*bearing)* turbin dapat berupa:
  a. babbitt;
  b. ball bearing, roller bearings, tapper roller bearing dan *spherical roller bearing;*
  c. kombinasi dari keduanya.
ii) bantalan (*bearing)* harus dijamin untuk beroperasi secara terus-menerus minimal selama 50.000 jam;
iii) turbin harus dilengkapi dengan jumlah bantalan (*bearing)* yang memadai;
iv) bila diperlukan, bantalan (*bearing)* dapat dilengkapi dengan termometer yang terhubung dengan panel kontrol sehingga dapat memberikan peringatan/alarm serta dapat mematikan unit ketika temperatur bantalan (*bearing)* berlebihan.

4.4.4 *Shaft seal*

Ketentuan shaft seal adalah sebagai berikut
i) *Shaft seal* dapat berupa:
  a. mechanical seal;
  b. cincin karbon.
ii) *Shaft seal* harus secara efektif mencegah air masuk ke bantalan (*bearing)* dalam berbagai kondisi operasi maupun dalam keadaan diam dan mencegah masuknya udara.
iii) Poros sebaiknya menggunakan *sleeve stainless steel* pada saat melewati *shaft seal*.

4.5 Komponen pelengkap

4.5.1 Alat Angkat

Alat angkat digunakan untuk mengangkat *runner*, poros, *guide vane*, *regulating ring*, *head cover*, *servomotor*/aktuator *guide vane*, *bottom cover*, bantalan (*bearing)*, kopling, dan peralatan lainnya.

4.5.2 *Special tools* dan *tackles*

Special tools digunakan untuk melonggarkan dan mengencangkan baut kopling, pembongkaran dan perakitan alat proteksi *over load*, tuas *guide vane*, kunci pas khusus, *jack*, alat pengangkat poros, sling, *jig fixture* perbaikan *runner,* dan *guide vane*.

4.5.3 *Standar tools*

Standard tools baru dan lengkap harus disediakan untuk pemeliharaan turbin.

4.5.4 *Nameplate*

Data minimum yang harus dicantumkan pada *nameplate* yaitu nama lokasi, nama pabrikan, *output* daya, jenis turbin, putaran turbin, *head* desain, dan debit desain dengan format seperti pada Tabel 1.

Tabel 1- Syarat penandaan turbin Francis untuk PLTMH

Nama PLTMH :		
Merek :		
Model / Tipe :	Francis	
No. Seri :		
Pembuat :		
Tahun Produksi		
Diameter Runner		mm
Putaran Poros		rpm
Head		m
Debit		liter/s
Daya Mekanik		kW
Efisiensi Maksimum		%

4.5.5 Peralatan instrumentasi (proteksi, monitor, dan kontrol)

Setiap turbin harus dilengkapi dengan perangkat instrumentasi dan pengukuran secara lengkap pada tempat yang tepat untuk memantau kondisi unit selama operasi normal maupun dalam keadaan darurat.

i) Proteksi turbin dan generator diperlukan bilamana terjadi:
   a. putaran berlebih,
   b. temperatur bantalan (*bearing)* terlalu tinggi,
   c. temperatur generator terlalu tinggi,
   d. tekanan air *penstock* terlalu rendah,
   e. getaran berlebih,
   f. gangguan jaringan,
   g. sistem aktuator tidak berfungsi,
   h. indikator ketinggian minyak pelumas bantalan (*bearing).*
ii) Bilamana diperlukan, dapat disediakan beberapa informasi mengenai instrumentasi untuk monitor, misalnya:
   a. pengukur parameter generator (kecepatan, tegangan, arus, daya, dan temperatur),
   b. pengukur tekanan hidrolik air,
   c. pengukur debit air.
iii) Bilamana diperlukan, dapat disediakan beberapa informasi mengenai instrumentasi untuk kontrol, misalnya:
   a. unit start secara *interlocks,*
   b. *governor* dan instrumen panduan pergerakan *guide vane.*

4.6 Peralatan bantu dan komponen lainnya (jika diperlukan)

Bila diperlukan, perlu disediakan informasi mengenai persyaratan komponen *auxiliary* yang digunakan, sistem pelumasan *guide vane*, penutup sistem pengurasan, katup pelepas tekanan, sistem penerimaan udara, pelumasan mekanisme pengatur, indikator kontrol, dan alarm/peringatan.

i) Sistem hidrolik (peralatan minyak bertekanan tangki minyak, filter minyak, motor & pompa minyak, sistem pompa minyak manual, sistem distribusi, sistem penggerak/aktuator).
ii) Sistem pendingin (pendingin air dan udara) untuk misalnya, *gearbox* dan generator.
iii) Sistem pelumasan untuk bantalan (*bearing*).

4.7 Suku Cadang

Ketentuan untuk suku cadang adalah sebagai berikut:

i) sebaiknya tersedia dokumen daftar suku cadang yang dibutuhkan untuk menjamin operasional pembangkit bebas gangguan selama lima tahun;

ii) suku cadang tersebut harus diproduksi dan disediakan bersama dengan mesin utama dan dikirim bersama komponen turbin, antara lain:
   a. bantalan (*bearing)*,
   b. set *bushing guide vane*,
   c. set *seal* poros atau komponen yang mudah aus,
   d. *o-ring*.

5 Transportasi dan penyimpanan di lokasi pemasangan

5.1 Transportasi

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam transportasi turbin Francis adalah sebagai berikut:

i) setiap komponen PLTMH yang diangkut dari *workshop* pembuat sampai lokasi pemasangan harus terlindung dari benturan dan tertutup dengan baik sehingga tidak terpengaruh oleh perubahan cuaca;
ii) proses pengangkutan sebaiknya dijamin oleh asuransi untuk mengurangi risiko perjalanan;
iii) komponen elektrikal seperti generator, panel kontrol, instrumen, kubikel harus dibungkus rapat sehingga bebas dari pengaruh udara lingkungan dan tidak lembab;
iv) komponen mekanikal dan konstruksi yang rentan terhadap oksidasi harus dilapisi dengan *coating* atau *rust preventif oil*.

5.2 Penyimpanan

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penyimpanan turbin Francis adalah sebagai berikut:

i) setiap komponen PLTMH disimpan pada lokasi yang datar dan aman dari potensi longsor, banjir, dan bencana alam lainnya serta gangguan hewan;
ii) seluruh komponen yang telah sampai lapangan sebaiknya tersimpan dalam keadaan tertutup rapat sehingga tidak terpengaruh oleh perubahan cuaca dan udara lingkungan;
iii) setiap komponen harus memiliki identitas yang mudah untuk identifikasi sehingga memudahkan proses pemasangan, inventarisasi barang, dan proses serah terima barang kepada pihak pengguna.

6 Instalasi, pemeriksaan, pengujian, dan komisioning

6.1 Pemeriksaan dan pengujian komponen

Seluruh komponen turbin dan turbin dalam keadaan terakit perlu diperiksa untuk mengetahui kesesuaian dengan persyaratan yang mencakup:

i) kemudahan dan ketepatan dalam merakit di lapangan;
ii) *balancing* secara *static* atau *dynamic;*
iii) pengujian non destruktif pada sambungan las;
iv) pengujian kinerja untuk masing-masing peralatan bantu, misalnya: motor, pompa, kompresor, akumulator, aktuator sesuai standar yang berlaku;
v) celah antara *guide vane* dalam keadaan tertutup penuh dilaksanakan pada tiga titik di setiap *guide vane*;
vi) celah antara *guide vane* pada bukaan 50%, 75%, dan 100% dilaksanakan pada tiga titik di setiap *guide vane*;
vii) *guide vane* dapat digerakkan dengan bebas pada bukaan 0% sampai dengan 100% melalui mekanisme *regulating ring*;
viii) seluruh saluran distribusi air dan minyak harus melalui uji kebocoran dan aliran;

ix) bahan/material untuk komponen utama turbin seperti *runner*, *guide vane*, poros turbin, bantalan (*bearing)* harus bersertifikat.

Hasil pemeriksaan dibuktikan dengan dokumentasi sebagai laporan. Seluruh komponen boleh dikirim setelah mendapatkan persetujuan yang mengacu kepada hasil pengujian.

6.2 Petunjuk instalasi dan pemasangan

Petunjuk instalasi dan pemasangan setidaknya berisi:

i. *layout* pemasangan komponen turbin pada rumah pembangkit mengacu pada titik pengukuran;
ii. gambar *piping and instrument diagram;*
iii. penetapan elevasi dan garis tengah berbagai komponen turbin PLTMH yang akan dipasang di lokasi dilengkapi dengan gambar. Toleransi perakitan harus mengikuti panduan standar yang berlaku;
iv. batasan lokasi bagian tertanam yang perlu diverifikasi dan dipantau sebelum dilaksanakan penuangan beton pada pekerjaan sipil atau pekerjaan lain yang berkaitan dengan komponen yang perlu dirakit atau dihubungkan di lapangan;
v. catatan pengukuran yang akan dibuat selama instalasi dan pengaturan komponen misalnya lokasi relatif, jarak bebas, ketinggian/elevasi, pemeriksaan rotasi, dan lain sebagainya termasuk catatan persyaratan generator.

6.3 Uji keberterimaan lapangan

Uji keberterimaan lapangan harus dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku. Segala bentuk aktivitas untuk pengujian termasuk alat uji menjadi tanggung jawab sepenuhnya penyedia barang/jasa. Pengujian yang dilakukan selama perakitan di lapangan adalah sebagai berikut:

i) *Non Destructive Test* untuk seluruh komponen yang dilas di lapangan;
ii) deviasi penyimpangan/*run out* pada *runner*, *flywheel*, dan *shaft;*
iii) *alignment* pada kopling *shaft*.

6.4 Uji komisioning

Apabila proses perakitan di lapangan selesai dilaksanakan, selanjutnya perlu dilakukan beberapa pengujian berikut, yaitu:

6.4.1 Uji operasi tanpa pembebanan

Pengoperasian awal adalah tahap menggerakan turbin dengan air untuk pertama kali. Atur pintu *intake* ke bak pengendap dan pintu air *intake* saluran air hingga debit air pada bak pengendap atau bak penenang sesuai dengan debit desain instalasi PLTMH. Setelah itu buka penuh katup utama (*main inlet valve*) secara perlahan. Periksa kebocoran pada *guide vane*. Buka *guide vane* secara bertahap hingga kecepatan putaran turbin mendekati kecepatan putaran nominal turbin. Periksa komponen mekanikal turbin dan komponen transmisi daya mekanik. Jika terjadi bunyi atau getaran tidak normal maka turbin segera dihentikan untuk dilakukan analisa lebih lanjut. Koordinator komisioning harus memeriksa penyebab, meminta penjelasan dari kontraktor, untuk memutuskan proses komisioning dapat dilanjutkan atau dihentikan.

Proses uji operasi tanpa pembebanan adalah proses menjalankan turbin hingga putaran poros mencapai kecepatan putaran nominal. Generator sudah berputar sesuai dengan kecepatan putaran kerjanya, namun belum menghasilkan daya atau daya yang dihasilkan sangat kecil. Pengamatan dan pengukuran yang dilakukan diantaranya:

i) perubahan kondisi pada *casing* atau dudukan bantalan *(bearing);*
ii) bunyi atau getaran yang berlebihan pada turbin dan/atau generator;
iii) kebocoran air dari *guide vane* dan poros turbin;

iv) kelurusan pada transmisi mekanik;
v) temperatur dan getaran bantalan *(bearing);*
vi) kecepatan putaran pada sumbu turbin dan generator.

Lihat Lampiran A untuk contoh formulir uji operasi tanpa pembebanan.

6.4.2 Uji operasi dengan pembebanan

Guide vane atau *nozzle* turbin dibuka bertahap hingga generator mulai menghasilkan daya listrik. Fungsi sistem kontrol sudah dapat diuji dengan beban daya listrik pada berbagai tingkatan beban, namun tetap stabil pada nilai nominal frekuensi dan tegangan.
Kurva karakteristik pembangkit bisa dipakai sebagai patokan apabila debit yang tersedia tidak mencukupi untuk membangkitkan daya sesuai kapasitas desain (misalnya proses komisioning dilakukan pada musim kemarau).

Pada saat uji pembebanan, koordinator komisioning mengamati, mengukur, dan mencatat:
i) tinggi muka air pada bak penenang;
ii) tekanan di *inlet* turbin;
iii) frekuensi, tegangan, dan arus pada terminal generator;
iv) bukaan *guide vane* atau *nozzle;*
v) temperatur *bearing* dan *water seal;*
vi) tingkat kebisingan.

Lihat Lampiran B untuk contoh formulir uji operasi dengan pembebanan.

6.4.3 Uji lepas beban

Pengujian lepas beban dilaksanakan dengan cara melepaskan beban secara tiba-tiba, beban harus ditingkatkan secara bertahap lalu dilakukan uji lepas beban. Misalnya, tahapan pelepasan beban pada 25%, 50%, 75%, dan 100% dari beban nominal. Setiap kali tahapan pengujian berhasil dilakukan, pengujian tahap berikutnya dilakukan dari kondisi turbin tertutup.

Tujuan proses pengujian dengan beban dan pengujian lepas beban adalah:
i) untuk memeriksa kesesuaian daya keluaran yang dihasilkan, dibandingkan dengan spesifikasi teknis dalam kontrak, dengan mempertimbangkan kondisi debit pada saat uji komisioning;
ii) untuk memeriksa kestabilan unit, getaran, atau kavitasi pada daerah operasi unit;
iii) untuk memeriksa fungsi sistem kontrol otomatis dan sistem pengamanan.

Pada proses uji lepas beban, sesaat setelah beban dilepaskan, koordinator komisioning mengamati, mengukur, dan mencatat:
i) tinggi muka air pada bak penenang;
ii) tekanan di *inlet* turbin;
iii) putaran turbin;
iv) putaran generator;
v) frekuensi dan tegangan pada terminal generator;
vi) tingkat kebisingan;
vii) bunyi dan getaran tidak normal.

Lihat Lampiran C untuk contoh formulir uji lepas beban.

6.4.4 Uji operasional

Uji operasional minimal dilakukan selama 72 jam terus menerus dengan beban sesuai dengan kapasitas daya desain atau sesuai dengan kondisi debit. Beban daya menggunakan *dummy load* atau dikombinasikan dengan beban konsumen. Uji operasional bertujuan untuk mengamati kestabilan unjuk kerja PLTMH. Pengukuran dan pengamatan selama uji operasional meliputi bagian dan komponen sebagai berikut:

i) tinggi muka air di hulu bendung dan bak penenang;
ii) gangguan sampah pada *intake* saluran dan *trash rack* pada bak penenang;
iii) erosi pada bendung dan *tailrace;*
iv) temperatur *bearing*, *gear box*, *casing generator;*
v) temperatur *ballast load;*
vi) kelurusan (*alignment*) sistem transmisi mekanik;
vii) frekuensi, tegangan dan arus pada panel kontrol;
viii) fluktuasi beban daya listrik konsumen;
ix) *drop* tegangan listrik di ujung jaringan distribusi terjauh.

Pengukuran dan pengamatan pada saat uji operasional dilakukan setiap jam untuk 4 jam pertama. Pengukuran dan pengamatan berikutnya dilakukan setiap 6 jam. Pengujian operasional dapat dihentikan jika terjadi kecenderungan terjadi kerusakan yang berbahaya, seperti peningkatan temperatur *bearing* yang tidak normal atau *belt* lepas dari *pulley*. Koordinator komisioning menganalisa penyebab dan melakukan koordinasi dengan pihak kontraktor. Uji operasi dapat diulang dari awal setelah disetujui oleh koordinator komisioning.

Lihat Lampiran D untuk contoh formulir uji operasional 72 jam.

Data hasil pengujian harus sesuai dengan rencana spesifikasi teknis yang telah disepakati.

Lampiran A
(informatif)

Prosedur uji operasi tanpa pembebanan

<table>
<tr><td colspan="6">Prosedur uji operasi tanpa pembebanan</td></tr>
<tr><td colspan="6">1. Tutup semua pintu air dan katup air
2. Tutup pintu penguras bendung, tunggu hingga air melimpas di atas mercu
3. Buka pintu intake secara bertahap, air akan mengisi saluran sampai tercapai tinggi jagaan. Tunggu hingga air mengalir dengan stabil
4. Buka pintu menuju bak pengendap (jika ada)
5. Buka pintu menuju pipa pesat (jika ada) secara bertahap
6. Buka penuh katup utama turbin (jika terdapat keran bypass, buka terlebih dahulu sebelum membuka katup utama turbin)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">Tidak ada kebocoran di guide vane & turbin</td></tr>
<tr><td colspan="6">7. Buka guide vane atau nozzle secara perlahan hingga kecepatan putar turbin mendekati putaran nominal turbin (atau generator mendekati putaran nominalnya)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">Tidak ada kebocoran di guide vane & turbin</td></tr>
<tr><td></td><td>Batas wajar bunyi</td><td></td><td colspan="3">Batas wajar getaran</td></tr>
<tr><td></td><td>Transmisi berfungsi baik</td><td></td><td>Dudukan bearing aman</td><td></td><td>Temperatur bearing aman</td></tr>
<tr><td>rpm</td><td colspan="5">Ukur kecepatan runner turbin</td></tr>
<tr><td>rpm</td><td colspan="5">Ukur kecepatan poros generator</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="6">Catatan:</td></tr>
</table>

Tanggal:	Koordinator:	Saksi 1:	Saksi 2:

CATATAN 1 *isi dengan tanda check (√) untuk menyatakan keberadaan komponen*
CATATAN 2 *isi dengan tanda silang (X) jika komponen tidak ada tetapi tercantum dalam kontrak*

Lampiran B
(informatif)

Prosedur uji operasi dengan pembebanan

Prosedur uji operasi dengan pembebanan

1. Tutup semua pintu air dan katup air
2. Tutup pintu penguras bendung, tunggu hingga air melimpas di atas mercu
3. Buka pintu *intake* secara bertahap, air akan mengisi saluran sampai tercapai tinggi jagaan. Tunggu hingga air mengalir dengan stabil
4. Buka pintu menuju bak pengendap (jika ada)
5. Buka pintu menuju pipa pesat (jika ada) secara bertahap
6. Buka penuh katup utama turbin (jika terdapat keran *bypass*, buka terlebih dahulu sebelum membuka katup utama turbin)

	Tidak ada kebocoran di *guide vane* & turbin

7. Buka *guide vane* atau *nozzle* secara perlahan hingga kecepatan putar turbin mendekati putaran nominal turbin (atau generator mendekati putaran nominalnya)
8. Buka *guide vane* atau *nozzle* lebih besar sehingga generator mulai menghasilkan daya listrik. Tegangan minimal saat generator menghasilkan daya adalah 220 V dan frekuensi pada 50 Hz
9. Lakukan pengukuran dengan daya bertahap sampai daya nominal tercapai atau sampai daya makmimal yang dimungkinkan oleh debit yang tersedia

No	Bukaan *guide vane*	Tinggi muka air	Debit [Ltr/s]	Tekanan [kg/cm^2]	Frek [Hz]	Volt L-N [V]	Arus R [A]	Arus S [A]	Arus T [A]

	Tidak ada kebocoran di *guide vane* & turbin				
	Batas wajar bunyi		Batas wajar getaran		
	Transmisi berfungsi baik		Dudukan *bearing* aman		Temperatur *bearing* aman

Catatan:

Tanggal:	Koordinator:	Saksi 1:	Saksi 2:

CATATAN 1 *isi dengan tanda check (√) untuk menyatakan keberadaan komponen*
CATATAN 2 *isi dengan tanda silang (X) jika komponen tidak ada tetapi tercantum dalam kontrak*

Lampiran C
(informatif)

Prosedur uji lepas beban

Prosedur uji lepas beban

1. Tutup semua pintu air dan katup air
2. Tutup pintu penguras bendung, tunggu hingga air melimpas di atas mercu
3. Buka pintu *intake* secara bertahap, air akan mengisi saluran sampai tercapai tinggi jagaan. Tunggu hingga air mengalir dengan stabil
4. Buka pintu menuju bak pengendap (jika ada)
5. Buka pintu menuju pipa pesat (jika ada) secara bertahap
6. Buka penuh katup utama turbin (jika terdapat keran *bypass*, buka terlebih dahulu sebelum membuka katup utama turbin)

	Tidak ada kebocoran di *guide vane* & turbin

7. Buka *guide vane* atau *nozzle* secara perlahan hingga kecepatan putar turbin mendekati putaran nominal turbin (atau generator mendekati putaran nominalnya)
8. Buka *guide vane* atau *nozzle* lebih besar sehingga generator mulai menghasilkan daya listrik. Tegangan minimal saat generator menghasilkan daya adalah 220 V dan frekuensi pada 50 Hz
9. Saat perkiraan daya mencapai tahapan tertentu, lepaskan beban konsumen secara tiba-tiba. Perhatikan efeknya pada sistem kontrol

No	Bukaan *guide vane*	Tinggi muka air	Tekanan [kg/cm^2]	Frek [Hz]	Volt L-N [V]	putaran	
						Turbin [rpm]	Generator [rpm]

	Tidak ada kebocoran di *guide vane* & turbin				
	Batas wajar bunyi		Batas wajar getaran		
	Transmisi berfungsi baik		Dudukan *bearing* aman		Temperatur *bearing* aman

Catatan:			
Tanggal:	Koordinator:	Saksi 1:	Saksi 2:

CATATAN 1 *isi dengan tanda check (√) untuk menyatakan keberadaan komponen*
CATATAN 2 *isi dengan tanda silang (X) jika komponen tidak ada tetapi tercantum dalam kontrak*

Lampiran D
(informatif)
Prosedur uji operasional selama 72 jam

Prosedur uji operasional selama 72 jam

1. Bukaan *guide vane* diatur pada perkiraan daya nominal
2. Jalankan pembangkit selama 72 jam secara terus menerus

Jam ke-	Tinggi muka air	Temperatur			Frek [Hz]	Volt L-N [V]	Arus beban	
		Bearing [°C]	Gen. [°C]	*Ballast* [°C]			*Ballast* [A]	Konsumen [A]
0								
1								
2								
3								
4								
10								
16								
22								
28								
34								
40								
46								
52								
58								
64								
70								
72								

	Tidak ada kebocoran di *guide vane* & turbin				
	Batas wajar bunyi		Batas wajar getaran		
	Transmisi berfungsi baik		Dudukan *bearing* aman		Temperatur *bearing* aman
	Tidak ada erosi di bendung		Tidak ada erosi di *tailrace*		
	Tidak ada sampah di *intake* dan *trash rack*				
V	Ukur tegangan di konsumen terjauh				

Catatan:

Tanggal:	Koordinator	Saksi 1:	Saksi 2:

CATATAN 1 *isi dengan tanda check (√) untuk menyatakan keberadaan komponen*
CATATAN 2 *isi dengan tanda silang (X) jika komponen tidak ada tetapi tercantum dalam kontrak*

Bibliografi

[1] SNI 7931:2013, Perancangan kapasitas dan layout sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro jenis cross-flow sampai dengan daya terbangkit 25 kW

[2] SNI 7932:2013, Spesifikasi turbin air cross-flow dengan daya mekanik hingga 35 kW untuk PLTMH

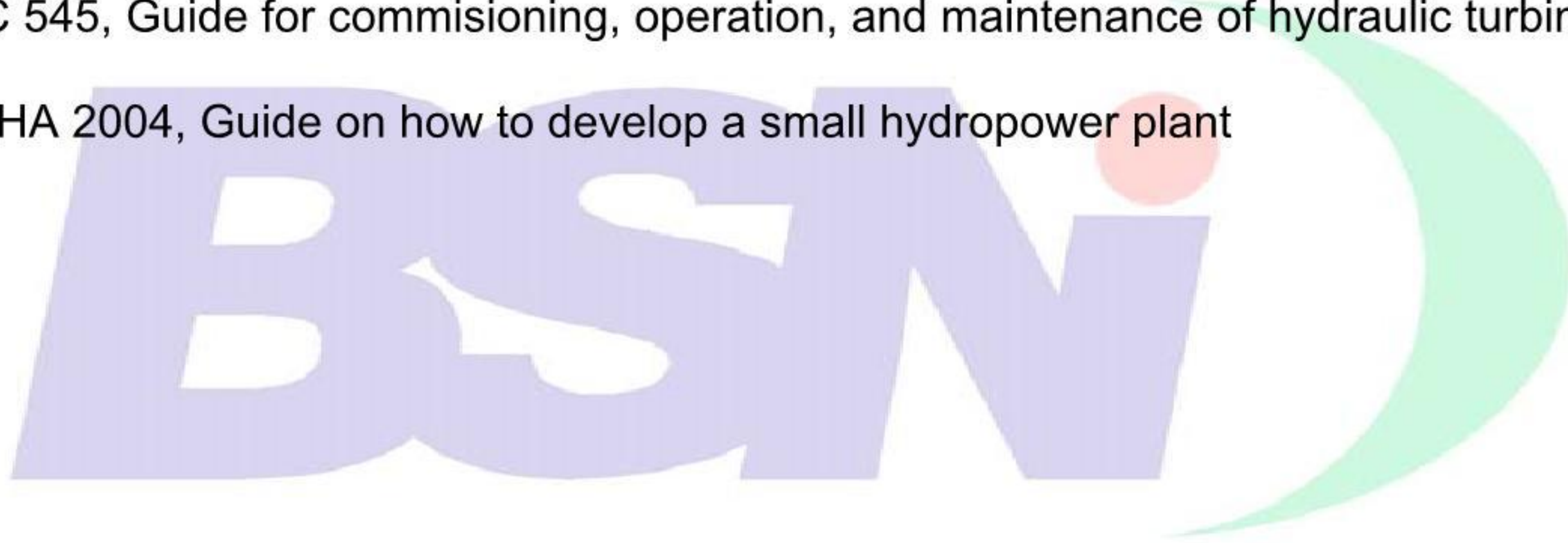
[3] SNI IEC 62006:2013, Mesin hidrolik - Uji keberterimaan instalasi pembangkit listrik tenaga air skala kecil

[4] SNI 04-6953-2003, Pembangkit listrik hidro skala kecil

[5] IEC 61366-2, Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering Documents – Part 2 : Guidelines for technical specifications for Francis turbines

[6] IEC 60041, Field acceptance test to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps, and pump-turbines

[7] IEC 545, Guide for commisioning, operation, and maintenance of hydraulic turbines

[8] ESHA 2004, Guide on how to develop a small hydropower plant

Informasi pendukung terkait perumus standar

[1] Komtek/SubKomtek perumus SNI

Komite Teknis 27-03 Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan

[2] Susunan keanggotaan Komtek perumus SNI

Ketua : Ahmad Indra Siswantara

Wakil Ketua *): Martha Relitha S

Sekretaris : Faisal Rahadian

Anggota : Adjat Sudrajat
Tony Susandy
Oo Abdul Rosyid
Widya Adi Nugroho
Sri Rahayu
Yenny Sofaeti
M. Ade Andriansyah Efendi
Ika Monika
Ika Hartika Ismet
Indra Djodikusumo
Sahat Pakpahan
Mochamad Sjachdirin
Bambang Purwatmo
Soeripno Martosaputro
Pahlawan Sagala
Carolus Boromeus Rudationo
Asep Sopandi
Eddy Permadi
Yanda Prakasa
Kharisma Surya Gautama
Harry Indrawan
Dimas Kaharudin
Sentanu Hindrakusuma
Muhammad Nashar

[3] Konseptor rancangan SNI

Komtek 27-03 klaster energi hidro

[4] Sekretariat pengelola Komtek perumus SNI

Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan
Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral